

# 準安定状態アルゴン原子の速度分布測定

量子・物質工学科 清水研究室 街道裕樹

## 1. 背景・目的

我々の研究室では、準安定状態アルゴン原子 ( $\text{Ar}^*$ ) のレーザー冷却・トラップの研究を行っている。トラップした  $\text{Ar}^*$  を用いて、固体表面との相互作用の研究、また、原子干渉計の開発を行う予定である。

本実験の目的は、ドップラーシフトを用いて  $\text{Ar}^*$  の速度分布測定を行うことである。

## 2. 原理

### 2.1 $\text{Ar}^*$ の速度分布測定法について

気体では分子の運動速度が一般にマクスウェル・ボルツマン分布をしているので、スペクトル線がドップラー広がりをもつ。原子を平行なビーム状にし、ビームに対して直角と角度  $\theta$  の 2 つの入射角でレーザー光を照射する。すると、入射角  $\theta$  のレーザー光に対しては、ドップラーシフトが生じ、レーザー光の角周波数  $\omega_L$  と静止原子の共鳴角周波数  $\omega_0$  には次の関係が成り立つ。

$$\omega_L = \omega_0 + kv \cos \theta$$

よって、2 つのレーザー光の角周波数を測定することで、 $\text{Ar}^*$  原子の速度  $v$  を求めることができる。

### 2.2 $\text{Ar}^*$ のエネルギー準位について

アルゴン原子を放電により、第一励起状態に励起する。第一励起状態には 4 種類あり、 $J=1$  へ励起した原子はすぐに基底状態へ落ちる。 $J=0, 2$  は準安定状態であり、励起の寿命は 40 s である。第一励起状態と第二励起状態の間では赤外領域の吸収があり、選択則により、第二励起状態の  $J=3$  の原子は第一励起状態の  $J=2$  へしか自然放出が起らないため閉じた遷移となり冷却に用

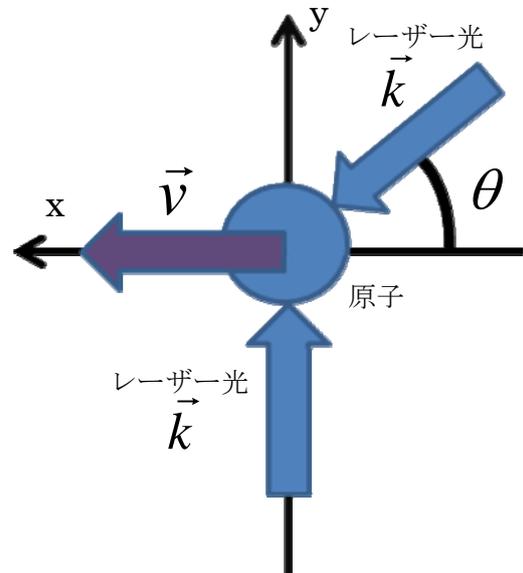


図 1 ドップラーシフト

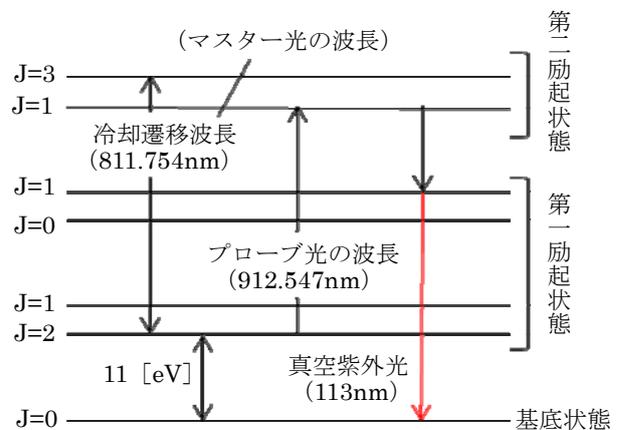


図 2  $\text{Ar}^*$  のエネルギー準位図

いることができる。

第一励起状態の  $J=0,2$  の原子は準安定状態であるため、下の準位に遷移させるためには、プローブ光を照射し、第二励起状態の  $J=1$  に励起させ、第一励起状態の  $J=1$  に遷移させることが必要であり、 $J=1$  から基底状態へ遷移するとき真空紫外光が放出される。

### 3. 実験の手順

#### 3.1 放電管の改良

$Ar^*$ の温度を下げるため、放電管の先端にサファイアピンホールを取り付けた。

サファイアは、熱伝導率が良いため、液体窒素で冷やされたCuへ熱が伝わり、放電領域の温度が冷やされ、温度の低い  $Ar^*$  を生成することができる。よって、速度の遅い  $Ar^*$  を生成することができる。(イオンや基底状態  $Ar$  はガラス管を通してポンプで排気される。)

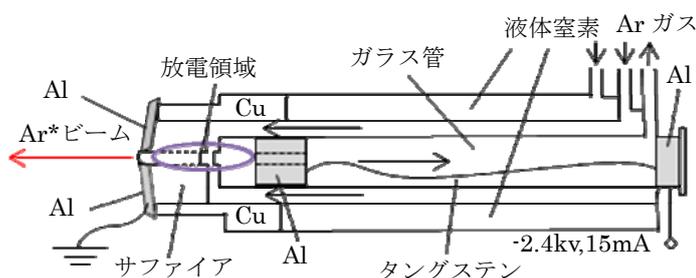


図 3 放電管の内部図

#### 3.2 速度分布測定のためのピンホールの設置

$Ar^*$ の  $811.754\text{nm}$  の冷却遷移である上準位の寿命  $\tau$  は  $27\text{ns}$  であるため、 $Ar^*$ の共鳴線の自然幅は、 $1/2\pi\tau=5.9\text{MHz}$  となる。一方、アルゴン原子の速度  $v=500\text{m/s}$ 、波長  $\lambda=811.754\text{nm}$  とすると、遷移のドップラー幅は、 $v/\lambda=616\text{MHz}$  となる。そのため、自然幅のスペクトルを観測するために原子ビームの平行度を  $5.9/616 \approx 1/100$  以下にする必要がある。

設置したピンホールは、図4のようなもので、平行度は、 $2.5/300 \approx 0.833/100$  となり、広がり角  $\theta$  は、

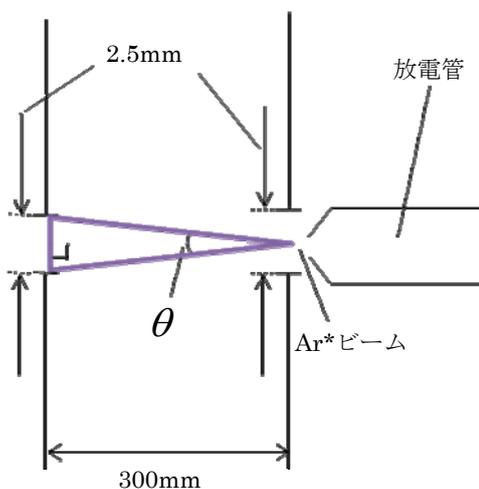


図 4 2つのピンホールによるビームの平行度

$$\tan(\theta/2) = 1.25/300$$

$$\theta \approx 8.33 \times 10^{-3} \text{rad} \quad \text{となる。}$$

#### 3.3 MCPによる蛍光スペクトルの観測

測定は  $912\text{nm}$  の光 ( $J=2 \rightarrow J=1$ ) をビームに照射し、基底状態に遷移するとき放出される真空紫外光をMCPで検出する。MCPは原子ビームとレーザー光の交点の近くに設置

することができるため、検出の効率が高くなる。

原子の中心から MCP の表面までの距離を  $L$  とし、半径  $L$  の球の表面積を求めると、 $4\pi L^2$

半径  $r$  の MCP の面積は、 $\pi r^2$

よって、(MCP で観測される光子)/(放出される光子)

$$= \pi r^2 / 4\pi L^2 = r^2 / 4L^2$$

の真空紫外光を観測することができる。

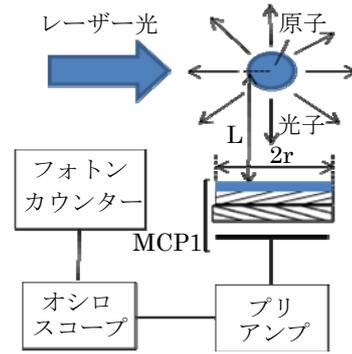


図 5 MCP による電流の測定

### 3.4 真空装置

Ar ガスを放電管に流し、電圧-2.4kV、電流 15mA で放電している。電極に負の高電圧をかけることで、イオンがディフレッタチャンバーに侵入するのを防いでいる。2つのピンホールを通過した、 $Ar^*$  ビームにディフレッタチャンバーの窓からレーザー光を原子ビームに対して直角に照射した。 $Ar^*$  と共鳴し放出する光子を MCP1 で観測する。また、-100V の電圧をかけた Al のメッシュ、Al の筒を通過させ、イオン、電子を除去した  $Ar^*$  ビームを MCP2 へ衝突させ、衝突によって生じた電子を蛍光板に写し CCD カメラで観測した。

光学系と真空装置の概略を図 6、図 7 に示す。

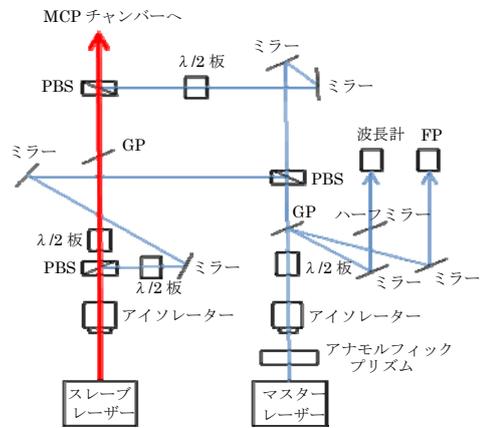


図 6 光学系

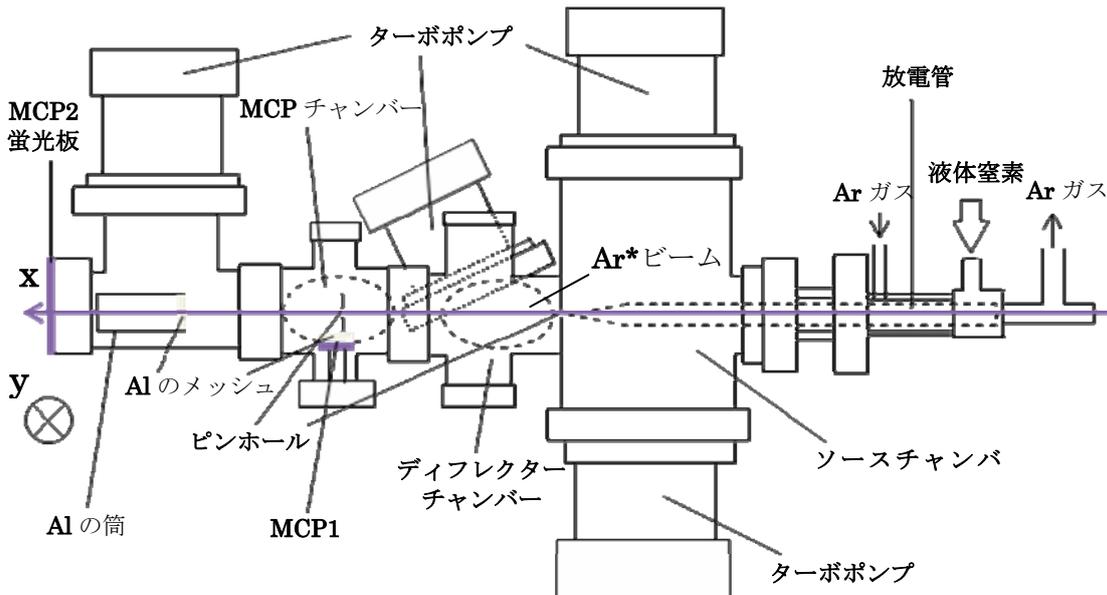


図 7 真空装置

#### 4. 結果

MCP2 は準安定状態原子を検出することができ、MCP の後の蛍光板により、2次元のアルゴンビームの空間分布を観測した。

Ar\*ビームに直角にレーザー光を照射することで原子が吸収・放出を繰り返し、レーザー光に押されていることが確認できた。(λ=811.754nm)

これにより、必要な第一励起状態、J=2 準位の原子が生成されていることが確認できた。

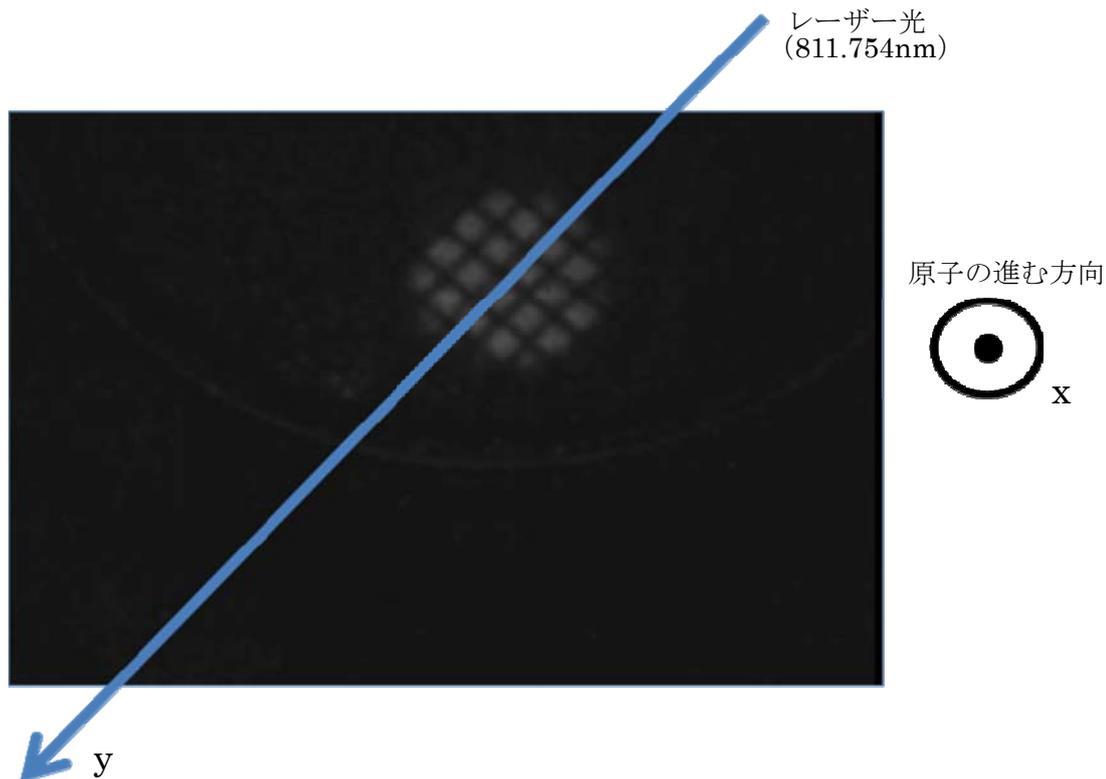


図 8 Ar\*ビームの蛍光

#### 5. 今後の課題

912.547nm のプローブ光を原子に照射したが MCP1 で電流を観測することができなかった。

ディフレッタを働かせ、Ar\*ビームを収束させ 共鳴する原子を増やす必要がある。

レーザー光の強度を上げ、ディテクターで 観測できる量の光子を放出させる必要がある。